

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

JOONA ALPPI

Betonikoekappaleiden häirinnän vaikutus puristuslujuuteen

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN TUTKINTO-
OHJELMA
2024

TIIVISTELMÄ

Alppi, Joonas: Betonikoekappaleiden häirinnän vaikutus puristuslujuuteen
Opinnäytetyö, AMK
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Marraskuu 2024
Sivumäärä: 37

Opinnäytetyö tehtiin betonialan yrityksen, Rudus Oy:n kanssa. Opinnäytetyössä selvitettiin työmaakoekappaleiden oikeaoppisen varastoinnin merkitys betonin puristuslujuuteen. Tämä selvitettiin häiritsemällä koekappaleita niiden kovettumisaikana. Häirinnällä pyrittiin jäljittelemään betonikoekappaleiden heikosti toteutunutta työmaavarastointia. Tutkimukset suoritettiin Ruduksen Porin valmisbetoniasemalla.

Työn tutkimus perustuu standardeihin, joissa määritellään tarkasti oikeat työmenetelmät betonin näytteenottoon sekä koekappaleiden valmistukseen. Lisäksi työn lähteenä käytettiin aiheeseen perustuvia tietokantoja sekä alan yritysten verkkosivuja.

Työn johtopäätökset tehtiin vertailemalla standardien mukaisesti valmistettuja koekappaleita häirittyihin koekappaleisiin. Lopputuloksena pääteltiin, että heikosti toteutetulla tai puuttuvalla työmaavarastointipaikalla saattaa betonireseptistä riippuen olla heikentäviä vaikutuksia betonin puristuslujuuteen.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää muun muassa tietolähteenä infra- ja talonrakennusalan yrityksille, jonka työmailla vaaditaan betonikoekappaleiden tekoa. Parantuneen työmaavarastoinnin seurauksena koekappaleiden puristuslujuudet pysyisivät lähempänä totuutta, mikä vähentäisi sekaannuksia betonitoimittajan ja urakoitsijan välillä.

Avainsanat: betoni, valmisbetoni, laadunvalvonta

ABSTRACT

Alppi, Joonas: The effect of disturbance on the compressive strength of concrete specimens
Bachelor's thesis
Construction and Civil Engineering
November 2024
Number of pages: 37

The thesis was conducted in collaboration with a concrete industry company, Rudus Oy. The thesis investigated the significance of proper storage of site test specimens on the compressive strength of concrete. This was determined by disturbing the test specimens during their curing period. The disturbance was aimed to simulate poorly executed site storage. The research was executed at Rudus's ready-mix concrete plant in Pori.

The research is based on standards that precisely define the correct working methods for the concrete sampling and the preparation of test specimens. Additionally, databases related to the topic and websites of concrete industry companies were used as sources.

The conclusions of the work were drawn by comparing specimens prepared in accordance with standards, to disturbed specimens. The final conclusion was that poorly executed or missing site storage may have weakening effects on the compressive strength of concrete, depending on the concrete mix.

The results of the thesis can be used as a source of information for infrastructure and construction companies that require the preparation of concrete specimens on their sites. Improved site storage would result in test specimens' compressive strengths being closer to the truth, reducing confusion between the concrete supplier and the contractor.

Keywords: concrete, ready-mix concrete, quality control

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 VALMISBETONI	6
3 STANDARDIEN KÄYTTÖ BETONIN LAADUNVALVONNASSA	8
3.1 Laadunvalvonta	8
3.2 Standardien mukainen puristuslujuuden selvittäminen	9
3.2.1 Näytteenotto	9
3.2.2 Muottien valmistelu ja täyttö	9
3.2.3 Jälkihoito	10
3.2.4 Puristuslujuuden määrittäminen	10
4 TILAAJA, TUTKIMUS JA TAUSTATIEDOT	11
4.1 Tilaaajan esittely	11
4.2 Tutkimussuunnitelma	11
4.3 Lähtötiedot koekappaleiden häirintään	13
5 TYÖN SUORITTAMINEN	15
5.1 Koekappaleiden valmistus ja häirintä	15
5.2 Muottien purku ja jälkihoito	16
5.3 Koekappaleiden puristaminen	16
6 KOKEIDEN TULOKSET	18
6.1 Koe 1	18
6.2 Koe 2	20
6.3 Koe 3	22
6.4 Koe 4	23
6.5 Tulosten yhteenveto	25
7 TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	28
8 YHTEENVETO	30
LÄHTEET	31
LIITE 1: KOE 1 MITTAUSPÖYTÄKIRJA	34
LIITE 2: KOE 2 MITTAUSPÖYTÄKIRJA	35
LIITE 3: KOE 3 MITTAUSPÖYTÄKIRJA	36
LIITE 4: KOE 4 MITTAUSPÖYTÄKIRJA	37

1 JOHDANTO

Työn aiheena on betonikoekappaleiden puristuslujuuksien tutkiminen. Betonin puristuslujuus selvitetään laboratorio-olosuhteissa kuormittamalla koekappaleita puristuskoneessa vakionopeudella sen murtumiseen asti (SFS-EN 12390-3:2019, 2019, s. 6). Ennen tätä puristuskoetta koekappaleet tulee säilyttää standardien mukaisissa kovettumisolosuhteissa, jotta koekappaleesta saadaan todellinen puristuslujuus selville.

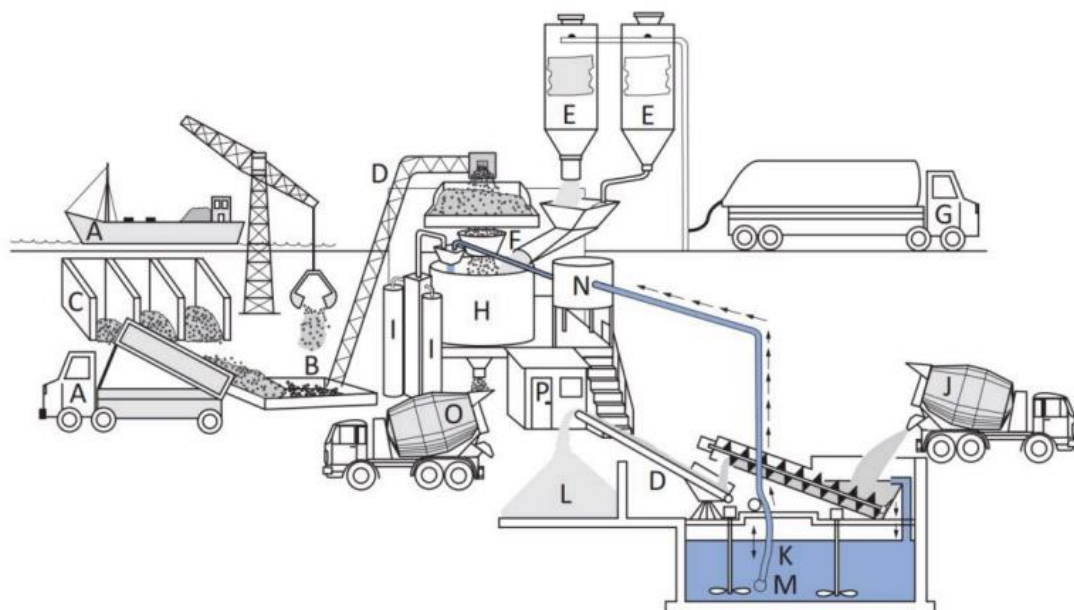
Työn aihe syntyi ongelmasta työmaakoekappaleiden kohdalla, kun koekappaleiden varastointipaikka työmailla on ajoittain puutteellinen. Tämä saattaa johtaa koekappaleen heikentyneeseen puristuslujuuteen, ja tämä puolestaan aiheuttaa kysymysmerkkejä betonin valmistajaa kohtaan.

Työssä selvitetään standardien mukaisesti varastoitujen ja puutteellisesti säilytettyjen koekappaleiden erot puristuslujuudessa, jotta saadaan käsitys oikeanvarastoinnin merkityksestä. Tavoitteena on tutkimuksen kautta saada konkreettista tietoa esimerkiksi työmaille, joissa työmaakoekappaleita tehdään. Jos tuloksissa huomataan muutoksia puristuslujuudessa, voidaan tuloksia käyttää motivaationa yrityksille, jotta työmaakoekappaleille luotaisiin paremmat valmistus- ja säilytysolosuhteet.

2 VALMISBETONI

Sana ”valmisbetoni” tarkoittaa betonia, jota valmistetaan betoniasemalle ja lähetetään betoniautoissa työmaille muokattavassa muodossa. Työmaalla valmisbetoni pumpataan muottiin, jossa se kovettuu halutun muotoiseksi betonirakenteeksi. Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali, ja Suomessa valmisbetonia tuotettiin vuonna 2019 noin 2,7 miljoonaa kuutiota. (Betonitieto, n.d.)

Betonin pääraaka-aineet ovat sementti, vesi ja kiviainekset. Valmisbetoniasemalla sementtisiilot ja vesisäiliöt sijaitsevat lähellä sekoitinta. Kiviainekset puolestaan varastoidaan siloihin tai maataskuihin, joissa on yhteys sekoittimeen hihnakuljettimella. Betoniaseman keskeisin osa on betonimylly eli sekoitin, jossa betonin raaka-aineet sekoitetaan keskenään. Ennen sekoitinta, aineet punnitaan tilauksen ja betonireseptin mukaan. Myllystä betoni kuormataan betoniautoihin, jotka kuljettavat betonin tilauskohteeseen. Alla olevassa kuvassa 1 on esitetty valmisbetoniaseman toiminta. (Betonitieto, n.d.)



- | | |
|--|---|
| A Kiviaineksen toimitus (laiva, auto) | J Työmaalta palautuneen ylijäämäbetonin purku kierrätykseen |
| B Kiviaineksen vastaanotto tehtaalle | K Kierrätysvesi |
| C Kiviaineksen varastointi tehtaalla (siilot, maataskut) | L Kierrätysrunkoaine |
| D Hihnakuuljetin | M Kierrätysveden pumppu |
| E Sementtisiilot | N Veden varastointi |
| F Osa-aineiden punnitus | O Betonin kuormaus betoninkuljetusautoon |
| G Sementin toimitus tehtaalle | P Prosessin ohjaus |
| H Sekoitin | |
| I Lisäaineet | |

Kuva 1. Valmisbetoniaseman toiminta (Betonitieto, n.d.).

Betonin valmistusta ohjataan standardeilla, joissa määritellään tarkasti muun muassa betonin ominaisuudet sekä laadunvalvonta. Valmisbetonin valmistusta Suomessa ohjaa standardi SFS-EN 206 Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimuksenmukaisuus (2014, s. 5–7). Standardin tukena ja täydentäjänä toimii kansallinen soveltamisstandardi SFS 7022 Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa (2024, s. 5). (Betonitieto, n.d.)

3 STANDARDIEN KÄYTTÖ BETONIN LAADUNVALVONNASSA

3.1 Laadunvalvonta

Valmisbetonin laadunvalvonta pohjautuu yllä mainittuun standardiin SFS-EN 206, jonka tukena käytetään standardeja SFS-EN 12350 sekä SFS-EN 12390. Standardi SFS-EN 12350 keskittyy tuoreen betonin testaukseen, kun puolestaan standardi SFS-EN 12390 keskittyy kovettuneen betonin testaukseen. Tuoretta betonimassaa valvotaan muun muassa mittaamalla siitä ilmamäärä, painuma/leviämä, tiheys ja lämpötila. Kovettuneesta betonimassasta voidaan puolestaan mitata esimerkiksi huokosjako ja puristuslujuus. Lisäksi tärkeä laadunvalvontamenetelmä on kiviainesten kosteuspitoisuuden mittaaminen. Nämä kaikki mittausmenetelmät ovat tarkkaan määritellyt standardeissa. Laadunvalvonnan suorittaa yleensä betonilaborantti. (Betonitieto, n.d.)

Tässä työssä keskitytään betonin merkittävimpään ominaisuuteen, eli puristuslujuuteen. Betonin puristuslujuus saadaan selville valmistamalla näytteestä koekappaleita. Nämä koekappaleet voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: tehdas-, työmaa- ja olosuhdekoekappaleisiin.

Tehdaskoekappale on betonilaboratoriossa standardien mukaisesti valmistettu ja jälkihoidettu koekappale. Koska tehdaskoekappaleet tehdään laboratorioolosuhteissa, pystytään standardien mukaisia menetelmiä noudattamaan hyvin tarkasti. Näin ollen lopputulos tehdaskoekappaleilla on todenmukaisin muihin koekappaleisiin verrattuna. (Labroc, n.d.)

Työmaakoekappaleet valmistetaan ja varastoidaan koekappaleiden muottien purkuun asti työmaalla 24 tunnista kolmeen vuorokauteen. Työmaalle, jossa työmaakoekappaleita valmistetaan, tulee olla olosuhteet, jossa koekappale voidaan valmistaa ja varastoida standardien mukaisesti. (Väylävirasto, 2024, s. 24)

Olosuhdekoekappaleet valmistetaan myös työmaalla, mutta koekappaleet jätetään yleensä valetun rakenteen viereen, jotta koekappaleella on sama säilytyslämpötila ja olosuhde kuin valetulla rakenteella. Olosuhdekoekappaleilla voidaan arvioida valetun rakenteen lujuudenkehitystä, mutta koska niiden säilytyslämpötila sekä olosuhde poikkeaa standardeista, niitä ei voida käyttää muussa laadunvalvonnassa. (Betonitieto, n.d.)

3.2 Standardien mukainen puristuslujuuden selvittäminen

3.2.1 Näytteenotto

Betoninäyte otetaan standardin EN 12350-1 mukaisesti. Ennen näytteenottoa välineet puhdistetaan, jotta näytteeseen ei sekoitu muita betonilaatuja. Kun otetaan yksittäistä näytettä putoavasta massavirrasta, näyte otetaan niin että se edustaa koko virran leveyttä ja paksuutta. Kun näyte on otettu astiaan, kirjataan ylös näytteen kuorma, päivämäärä ja aika. (SFS-EN 12350-1:2019, 2019, s. 7–8)

3.2.2 Muottien valmistelu ja täyttö

Standardin EN 12390-2 mukaisesti koekappalemuotit sivellään tarvittaessa muottiöljyllä tai muulla ei-reaktiivisella irrotusaineella, jotta betoni tulee irtoamaan muoteista paremmin. Käsittelyn jälkeen muotit täytetään ja tiivistetään kerroksittain. Kerrosten määrä riippuu muotin korkeudesta, betonin notkeudesta sekä tiivistämismenetelmästä. Sauvatäryttimellä tiivistäessä on muistettava riittävä tärytys, mutta myös liiallinen tärytys on haitaksi, sillä se poistaa suojahuokosilmaa. Lisäksi sauvatäryttimellä tiivistäessä on oltava varovainen, ettei se vahingoita muottia eikä kosketa muotin reunoja tai pohjaa. Kun muotit ovat täynnä, poistetaan ylimääräinen betoni muotin päältä muurauslastalla, ja tasoitetaan pinta tasaiseksi. (SFS-EN 12390-2:2019, 2019, s. 6–7)

3.2.3 Jälkihoito

Koekappaleiden annetaan olla muoteissa vähintään 16 tunnin, ja enintään kolmen päivän ajan. Tänä aikana koekappaleiden on oltava varastointipaikassaan lämpötilassa (20 ± 5) °C täysin ilman häiriöitä. Tämän jälkeen koekappaleet voidaan poistaa muoteista, ja siirtää säilytykseen vesitankkiin tai kosteushuoneeseen. Vesitankissa olevan veden tulee olla lämpötilaltaan (20 ± 2) °C ja kosteushuoneessa olevan ilman on oltava lämpötilaltaan (20 ± 2) °C ja suhteelliselta ilmankosteudeltaan ≥ 95 %. Olosuhteet tulee tarkastaa säännöllisin väliajoin. (SFS-EN 12390-2:2019, 2019, s. 7–8)

3.2.4 Puristuslujuuden määrittäminen

Koekappaleen puristuslujuus määritetään standardin EN 12390-3 mukaan. Koekappaleen saavutettuaan testausikänsä, se poistetaan säilytyksestä ja testataan mahdollisimman nopeasti, viimeistään 10 tunnin kuluttua. Testauslämpötilan on oltava (20 ± 5) °C. Ennen puristuskokeen aloittamista varmistetaan, että koekappaleen pinnat ovat tasaiset esimerkiksi hiomalla ne. Itse puristuslujuus selvitetään puristuskokeessa, jossa koekappaletta kuormitetaan sen murtotilaan asti. Betonin puristuslujuus saadaan tilasta, jossa se pettää. (SFS-EN 12390-3:2019, 2019, s. 6)

4 TILAAJA, TUTKIMUS JA TAUSTATIEDOT

4.1 Tilaajan esittely

Työn tilaaja on Rudus Oy, joka kuuluu kansainväliseen CRH-konserniin. Rudus on kivipohjaisten rakennusmateriaalien tuottaja sekä toimittaja, ja se toimii ympäri Suomea työllistäen noin 900 henkilöä. (Finder, n.d.)

Rudus Oy on johtava valmisbetonin tuottaja Suomessa. Valmisbetonin tuotannon ja pumppauksen lisäksi Ruduksen tarjontaan kuuluvat betonielementit kuten runko-, seinä- ja hormielementit sekä useat muut betonituotteet. Lisäksi Ruduksen tarjontaan kuuluu kiviainestoimitukset sekä louhinta- ja murskausurakointi. (Rudus, n.d.)

Opinnäytetyön tutkimuksellinen osuus suoritetaan Rudus Oy:n Porin valmisbetoniaseman betonilaboratoriossa. Asema sijaitsee Porin Ulasoorissa.

4.2 Tutkimussuunnitelma

Työ toteutetaan toiminnallisena opinnäytetyönä. Toiminnallisessa opinnäytetyössä tavoitellaan toiminnan kehittämistä, ohjeistamista, järjestämistä sekä tehostamista. Toiminnalliseen opinnäytetyöhön liittyy jokin ongelma tai kysymys, joka tässä opinnäytetyössä on betonin lujuudenkehityksen käyttäytymisen häirintätilassa sekä työmaan laadunvalvontaolosuhteet. Näihin ongelmiin/kysymyksiin etsitään tietoa tutkimuksen kautta ja pyritään lopputuloksen kautta saamaan kehitystä valitun aiheen toimintaan. (HAMK, n.d.)

Työn tutkimuksellinen osuus aloitetaan valmistamalla valitusta betonilaadusta 18 betonikoekappaleita standardin mukaisella menetelmällä. Osa valmistetuista koekappaleista varastoidaan standardin mukaisesti ja osa varastoidaan puutteellisessa kovettumisolosuhteessa, jossa on tarkoituksena jäljitellä huonosti toteutettua työmaavarastointia.

Koekappaleryhmät ja häirintäajat on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 1). Puutteellisen varastointiympäristön luomiseen käytetään tärypöytää, jolla häiritäviä koekappaleita tärytetään 30 sekunnin ajan. Koekappaleita häiritään tietyn ajan kuluttua valmistuksesta niiden varastointiaikana.

Taulukko 1. Koekappaleiden ryhmät sekä häirintätavat yksittäisessä koeksessa

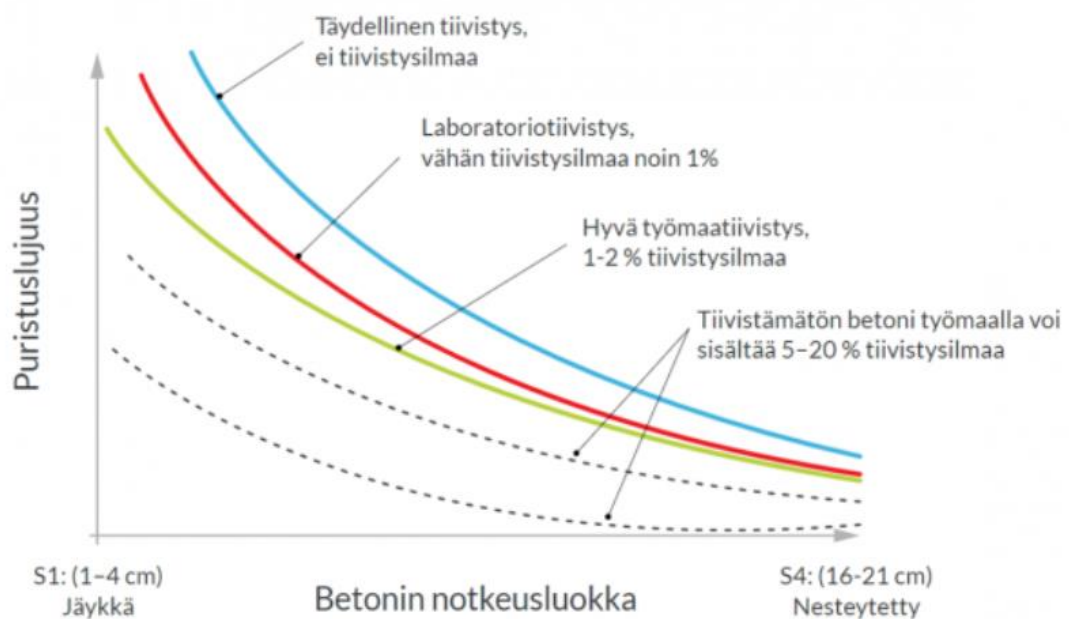
Ryhmä	Määrä	Häirintä
Norm.	3 kpl	Ei häirintää
1h	3 kpl	Tärytetään 30 sekunttia 1 tunnin kuluttua valmistuksesta
2h	3 kpl	Tärytetään 30 sekunttia 2 tunnin kuluttua valmistuksesta
3h	3 kpl	Tärytetään 30 sekunttia 3 tunnin kuluttua valmistuksesta
4h	3 kpl	Tärytetään 30 sekunttia 4 tunnin kuluttua valmistuksesta
5krt	3 kpl	Tärytetään 30 sekunttia 1-5 tunnin kuluttua valmistuksesta (joka tunti)
	yht. 18 kpl	

Varastointiajan jälkeen kaikki koekappaleet jälkihoidetaan standardin mukaisesti vesitankissa 28 päivää, jonka jälkeen koekappaleet testataan puristuskokeella. Eri tavoilla säilytettyjen koekappaleiden puristustuloksien eroja vertaamalla saadaan käsitys säilytyksen merkityksellisyydestä. Tämä koe toistetaan erilaisilla betonilaaduilla yhteensä neljä kertaa, jotta tuloksia voidaan verrata keskenään, ja tutkimuksesta saadaan mahdollisimman luotettava. Lisäksi usealla kokeella pystytään havaitsemaan mahdollisia virheitä sekä satunnaista vaihtelua. Jokaisesta kokeesta luodaan mittauspöytäkirjat (liitteet 1–4), jossa esitetään koekappaleiden tiedot eli yksittäisen kappaleen ryhmä, paino, tiheys, kuormitus sekä puristuslujuus. Lisäksi kaikista kokeista tehdään yhteinen kaavio, josta voidaan verrata betonimassojen häirintäherkkyyksiä. Koekappaleiden valmistus sekä mittaukset suoritetaan kesän 2024 aikana.

Tilaajan pyynnöstä tutkimuksessa käytettyjen betonilaatujen tiedot pidetään salassa, joten kokeissa käytetyt betonilaadut nimetään seuraavasti: betonimassa 1, betonimassa 2 ja niin edelleen.

4.3 Lähtötiedot koekappaleiden häirintään

Koska häirintätavaksi on valittu värinäähäiriö, voidaan olettaa sillä olevan tiivistävä vaikutus betoniin. Alla olevassa kuviossa 1 on kuvattu tiivistystavan vaikutuksesta betonin puristuslujuuteen. Kuviosta huomataan, että tiivistyksen määrällä on suora vaikutus betonin puristuslujuuteen. Täydellisesti tiivistetyn betonin (ei lainkaan tiivistysilmaa) puristuslujuus on suurin, kun taas laboratoriotiivistetty betoni (noin 1 % ilmaa) ja hyvin työmaatiivistetty (1–2 % ilmaa) ei yllä samoihin lujuuksiin. Tiivistämättömän betonin (5–20 % ilmaa) puristuslujuus eroaa selkeästi tiivistetyn betonin puristuslujuuteen. Lisäksi taulukosta huomataan, että betonin notkeusluokalla on oma vaikutuksensa. Jäykässä betonimassassa tiivistystavan erot ovat helposti huomattavissa, kun taas notkeassa massassa erot ovat hyvin pieniä. (Betonitieto, n.d.)



Kuvio 1. Betonin tiivistyksen vaikutus puristuslujuuteen (Betonitieto, n.d.).

Koska puristuslujuus ei ole ainoa merkittävä ominaisuus betonissa, ei voida olettaa, että hyvä lopputulos saadaan erittäin runsaalla tiivistyksellä. Betonimassassa on betonityypistä riippuen oltava tietty määrä ilmaa, jotta kovettunut betoni kestää muun muassa pakkasta. Tässä tilanteessa ilmahuokokset toimivat veden pakotilana, sillä veden tilavuus kasvaa sen jäätyessä. (Semtu, 2018, s. 4)

Pakkasenkestävyyden heikkeneminen ei ole ainoa liiallisesta tiivistyksestä syntyvä ongelma, sillä myös massan erottuminen tuo ongelmia. Betonin erottumisella tarkoitetaan runkoaineiden painumista pohjalle, ja veden nousemista massan pintaan, jolloin valettu rakenne ei ole tasalaatuinen ja pinta on heikko (Finnsementti, 2008, s. 1). Erottumisen seurauksena myös massan työstettävyy- ja muodonmuutosominaisuudet heikkenevät (Finnsementti, 2019).

Kokeessa keskitytään pääsääntöisesti ainoastaan lopputulokseen puristuslujuuden osalta, mutta myös muu kokeiden aikana havaittava betonin poikkeava käyttäytyminen pannaan merkille. Betonin poikkeavalla käyttäytymisellä tarkoitetaan esimerkiksi massan erottumista tai koekappaleiden säilytyksen aikana tapahtunutta muodonmuutosta, kuten poikkeuksellisen suurta kuivumiskutistumista. Tällaisen käyttäytymisen ilmetessä pohditaan niiden syitä sekä mahdollisia seurauksia.

5 TYÖN SUORITTAMINEN

5.1 Koekappaleiden valmistus ja häirintä

Aloitin työn valitsemalla sopivan betonilaadun. Näytteenoton jälkeen valmistin 18 kappaletta 150x150x150 millimetrin kokoisia koekuutioita. Nämä 18 kuutiota jaettiin suunnitelman mukaisesti kuuteen kolmen koekuution ryhmään. Jokaista kolmen koekuution ryhmää varastointiin eri tavoin, joten oli tärkeää nimetä jokainen koekuutio, jottei kuutiot sekoitu keskenään. Yksi ryhmä varastoitettiin standardien mukaisesti, jotta saadaan vertailuarvot muille ryhmille. Ryhmiä 1h, 2h, 3h, 4h ja 5krt, kävin täryttämässä tärypöydällä tunnin välein valmistuksesta taulukon 1 mukaisesti. Häirinnän jälkeen koekuutiot jätettiin kovettumaan rauhassa muotteihin.

Häirinnän aikana myös tarkkailin, näkyykö koekuutioissa mitään poikkeavia muutoksia kuten erottumista tai halkeilua. Kokeiden 1–3 aikana koekappaleissa ei ollut havaittavissa mitään poikkeavaa, vain normaalia ilman poistumista. Kokeen 4 koekappaleissa puolestaan tapahtui suhteellisen voimakasta erottumista, mikä oli huomattavissa veden noustessa pintaan.



Kuva 2. Koekuution häirintää tärypöydällä

5.2 Muottien purku ja jälkihoito

Koekappaleet irrotettiin muosteistaan seuraavana päivänä, kun aikaa oli kulunut vähintään 16 tuntia valmistuksesta. Tämän jälkeen nimesin koekappaleet ryhmittäin tunnistamisen helpottamiseksi, ja siirsin ne standardin mukaiseen vesisäilytykseen 28 päivän ajaksi. Vesisäiliö sijaitsi lämmitetyssä varastorakennuksessa.



Kuva 3. Koekuutiot vesisäilytyksessä

5.3 Koekappaleiden puristaminen

Kun 28 päivää oli kulunut, koekappaleet olivat valmiita puristuskokeelle. Puristuskoetta edeltävänä päivänä koekappaleet otettiin pois vesisäilytyksestä, jotta ne ehtivät kuivua. Kuivat koekappaleet puristettiin puristuskoneella, ja tulokset kirjattiin muistiin tarkempaa arviointia varten.



Kuva 4. Koekappaleiden punnitseminen



Kuva 5. Koekappaleiden puristuslujuuden selvittäminen

6 KOKEIDEN TULOKSET

6.1 Koe 1

Ennen puristuskokeen aloittamista mittauspöytäkirjaan (liite 1) kirjattiin ylös koekappaleen paino ja tiheys. Puristuskokeesta saatiin koekappaleen kuormitus sekä lopullinen puristuslujuus (taulukko 3). Lisäksi laskettiin jokaisen ryhmän puristuslujuuden keskiarvo (taulukko 4).

Taulukko 3. Koe 1, betonimassa 1 tulokset

KOE 1

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	8,04	2381,63	1110,1	49,34
Norm.	8,13	2408,59	1118,9	49,73
Norm.	8,12	2405,33	1127,6	50,12
1h	8,10	2400,59	1071,9	47,64
1h	8,14	2412,44	1118,1	49,69
1h	8,02	2376,00	1061,6	47,18
2h	8,00	2370,07	1067,6	47,45
2h	7,93	2350,81	1054,3	46,86
2h	8,02	2377,48	1084,9	48,22
3h	8,03	2378,37	1089,9	48,44
3h	8,06	2388,15	1138,3	50,59
3h	8,02	2375,70	1091,1	48,49
4h	8,11	2403,26	1158,2	51,48
4h	7,99	2367,11	1143,5	50,82
4h	8,08	2395,26	1162,3	51,66
5krt	8,03	2380,44	1178,3	52,37
5krt	8,13	2408,89	1182,9	52,57
5krt	8,10	2398,52	1174,9	52,22

Taulukko 4. Koe 1, puristuslujuuden keskiarvot

KOE 1 puristuslujuuden keskiarvot

Ryhmä	Puristuslujuus [MPa] (KA)
Norm.	49,73
1h	48,17
2h	47,51
3h	49,17
4h	51,32
5krt	52,39

Taulukkoja 3 ja 4 tutkimalla voidaan todeta, että suuria eroja ei ryhmien väleille syntynyt. Tuloksista voidaan myös todeta, että ryhmien 1h, 2h ja 3h puristuslujuuden tulokset ovat yhtä tulosta lukuun ottamatta heikompia kuin standardien mukaisesti varastoitujen koekappaleiden (ryhmä "Norm.") tulokset. Tästä voidaan päätellä, että kokeessa käytetty betonimassa on häiriöherkkä (tärinälle) ensimmäisen kolmen tunnin aikana. Vaikka ulospäin betonimassassa ei näkynyt muutoksia, on mahdollista, että painavimmat kiviaineet ovat painuneet muotin pohjalle aiheuttaen epätasaisen rakenteen (puristuslujuuden kannalta).

Ryhmien 4h sekä 5krt tulokset ovat kuitenkin hieman parempia muihin ryhmiin verrattuna. Etenkin ryhmän 5krt korkeaa tulosta selittää jatkuvan tärytyksen aiheuttama tiivistys, jolloin betoni pakkautuu muottiin hyvin tiiviisti ja betonista poistuu lähes kaikki ilma, kuvion 1 osoittamalla tavalla. Neljän tunnin kohdalla (ryhmä 4h) betonimassa oli mahdollisesti jo niin kovettunut, ettei se enää reagoanut tärinähäiriöön negatiivisesti esimerkiksi erottumalla.

6.2 Koe 2

Ennen puristuskokeen aloittamista mittauspöytäkirjaan (liite 2) kirjattiin ylös koekappaleen paino ja tiheys. Puristuskokeesta saatiin koekappaleen kuormitus sekä lopullinen puristuslujuus (taulukko 5). Lisäksi laskettiin jokaisen ryhmän puristuslujuuden keskiarvo (taulukko 6).

Taulukko 5. Koe 2, betonimassa 2 tulokset

KOE 2

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	8,11	2401,78	756,3	33,61
Norm.	8,10	2398,52	749,7	33,32
Norm.	8,14	2411,26	743,1	33,03
1h	8,12	2405,63	753,3	33,48
1h	8,12	2406,81	779,7	34,65
1h	8,14	2411,85	772,1	34,32
2h	8,11	2404,15	777,4	34,55
2h	8,22	2435,26	775,0	34,44
2h	8,16	2416,30	782,1	34,76
3h	8,17	2420,15	795,4	35,35
3h	8,18	2424,30	792,2	35,21
3h	8,15	2413,93	812,5	36,11
4h	8,29	2457,48	790,8	35,15
4h	8,25	2444,74	768,2	34,14
4h	8,26	2447,70	789,1	35,07
5krt	8,06	2387,85	911,8	40,52
5krt	8,16	2417,48	917,6	40,78
5krt	8,10	2400,30	893,6	39,72

Taulukko 6. Koe 2, puristuslujuuden keskiarvot

KOE 2 puristuslujuuden keskiarvot

Ryhmä	Puristuslujuus [MPa] (KA)
Norm.	33,32
1h	34,15
2h	34,59
3h	35,56
4h	34,79
5krt	40,34

Taulukoista 5 ja 6 kokeen 2 tuloksia tutkimalla huomataan, että standardin mukaisesti varastoitu koekappaleryhmä ("Norm.") on puristuslujuuden keskiarvoltaan heikoin muihin ryhmiin verrattuna. Voidaan siis todeta, että kokeen häiriön kaltaisella lyhytkestoisella tärinähäiriöllä ei ole negatiivista vaikutusta puristuslujuuden osalta betonimassaan 2. On mahdollista, että pidempikestoisella tärinähäiriöllä olisi ollut esimerkiksi "ylitiivistävä" vaikutus, joka olisi näkynyt puristuslujuudessa.

Eniten häirityn ryhmän 5krt tulokset ovat selkeästi muita ryhmiä paremmat. Tärinähäiriö on siis aiheuttanut ilman poistumisen sekä betonin tiiviin pakkautumisen muottiin. Massa käyttäytyy siis aiemmin esitetyn kuvion 1 mukaisesti. Puristuslujuuden tuloksen kannalta negatiivisia ilmiöitä, kuten erottumista ei tapahtunut.

6.3 Koe 3

Ennen puristuskokeen aloittamista mittauspöytäkirjaan (liite 3) kirjattiin ylös koekappaleen paino ja tiheys. Puristuskokeesta saatiin koekappaleen kuormitus sekä lopullinen puristuslujuus (taulukko 7). Lisäksi laskettiin jokaisen ryhmän puristuslujuuden keskiarvo (taulukko 8).

Taulukko 7. Koe 3, betonimassa 3 tulokset

KOE 3				
Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	7,91	2343,41	1028,6	45,72
Norm.	7,87	2330,37	963,8	42,84
Norm.	7,87	2333,04	990,3	44,01
1h	7,87	2332,44	993,8	44,17
1h	7,98	2365,33	1017,3	45,21
1h	7,86	2327,70	978,2	43,48
2h	7,88	2335,11	1011,3	44,95
2h	7,89	2338,96	1027	45,64
2h	7,91	2343,70	1033,5	45,93
3h	7,95	2355,26	987,1	43,87
3h	7,98	2364,74	1062,7	47,23
3h	7,93	2349,93	1016,6	45,18
4h	7,99	2366,52	1013,2	45,03
4h	7,96	2359,11	1037,6	46,12
4h	7,98	2365,33	1018,6	45,27
5krt	7,99	2367,41	1120,1	49,78
5krt	8,03	2380,15	1097,3	48,77
5krt	7,90	2340,15	1041,4	46,28

Taulukko 8. Koe 3, puristuslujuuden keskiarvot

KOE 3 puristuslujuuden keskiarvot	
Ryhmä	Puristuslujuus [MPa] (KA)
Norm.	44,19
1h	44,29
2h	45,51
3h	45,43
4h	45,47
5krt	48,28

Kokeen 3 puristuslujuuden keskiarvoja tutkimalla (taulukot 7 ja 8) voidaan havaita, että myös tässä kokeessa standardien mukaisesti varastoitu koekappaleeryhmä saa heikoimman puristuslujuuden keskiarvon. Ryhmien Norm. sekä 1h tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan, mutta ryhmien 2h, 3h sekä 4h tulokset ovat pääsääntöisesti asteen verran parempia ryhmiin Norm. ja 1h verrattuna. Tuloksia tutkimalla huomataan myös, että ryhmän 5krt tulokset ovat selkeästi muiden ryhmien tuloksia paremmat.

Tuloksista voidaan päätellä, että kokeessa suoritettuna kaltaisella tärinähäiriöllä ei ole negatiivista vaikutusta betonimassan 3 koekappaleiden puristuslujuuteen. Ryhmän 5krt hyviä puristuslujuuden tuloksia voidaan selittää tämänkin kokeen osalta sillä, että tärytyksen seurauksesta betonista on poistunut lähes kaikki ilma sekä se on pakkautunut muottiin hyvin tiiviisti. Liiallisesta tärytyksestä ei syntynyt puristuslujuuteen negatiivisesti vaikuttavia ilmiöitä.

6.4 Koe 4

Ennen puristuskokeen aloittamista mittauspöytäkirjaan (liite 4) kirjattiin ylös koekappaleen paino ja tiheys. Puristuskokeesta saatiin koekappaleen kuormitus sekä lopullinen puristuslujuus (taulukko 9). Lisäksi laskettiin jokaisen ryhmän puristuslujuuden keskiarvo (taulukko 10).

Taulukko 9. Koe 4, betonimassa 4 tulokset

KOE 4

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	7,49	2220,15	1090,2	48,45
Norm.	7,58	2245,04	1094,8	48,66
Norm.	7,41	2195,26	1064,6	47,32
1h	7,51	2226,07	1110,4	49,35
1h	7,46	2211,26	1058,9	47,06
1h	7,52	2228,15	951,4	42,28
2h	7,53	2231,70	1102,2	48,99
2h	7,52	2227,85	992,5	44,11
2h	7,54	2234,07	1106,6	49,18
3h	7,49	2219,85	1086,9	48,31
3h	7,43	2202,67	980,6	43,58
3h	7,52	2227,56	1058,1	47,03
4h	7,54	2233,78	1079,4	47,97
4h	7,50	2223,41	891,7	39,63
4h	7,49	2220,44	1061,4	47,17
5krt	7,51	2226,37	826,5	36,73
5krt	7,53	2230,22	976,9	43,42
5krt	7,56	2238,52	962,9	42,80

Taulukko 10. Koe 4, puristuslujuuden keskiarvot

KOE 4 puristuslujuuden keskiarvot

Ryhmä	Puristuslujuus [MPa] (KA)
Norm.	48,14
1h	46,23
2h	47,43
3h	46,31
4h	44,93
5krt	40,98

Koe 4 oli ainoa koe, jossa koekappaleissa tapahtui erottumista häirinnän seurauksena. Tästä syystä oli arveltavissa, että myös tuloksissa (taulukot 9 ja 10) on havaittavissa betonimassan erilainen käyttäytyminen.

Kokeen 4 tuloksia tutkimalla huomataan, että kokeessa käytetty betonilaatu käyttäytyy eri tavalla muihin betonilaatuihin verrattuna. Standardin mukaisesti

varastoitu ryhmä (Norm.) on keskiarvoltaan paras ryhmä, kun taas tunnin välein häiritty ryhmä (5krt) on selkeästi huonoin. Näiden kahden ryhmän välillä on huomattava ero, josta voidaan päätellä, että betoniresepti 4 on hyvin herkkä tärinähäiriölle. Tähän betonimassaan ei siis päde aiemmin esitetty kaavio (kuvio 1) betonin tiivistyksen vaikutuksesta puristuslujuuteen, sillä ”ylitiivistys” aiheuttaa massan erottumisen, joka johtaa epätasaiseen rakenteeseen.

Kun katsotaan jokaisen häirityn ryhmän puristuslujuuden tuloksia, huomataan, että jokaisessa ryhmässä on vähintään yksi selkeästi heikompi tulos verraten muihin ryhmän tuloksiin. On siis hyvin mahdollista, että näiden ryhmien muutkin tulokset olisivat heikommat, jos tärytys olisi kestänyt pidempään. Voidaan kuitenkin todeta, että tärinähäiriöllä on selkeä negatiivinen vaikutus betonimassan 4 puristuslujuuteen.

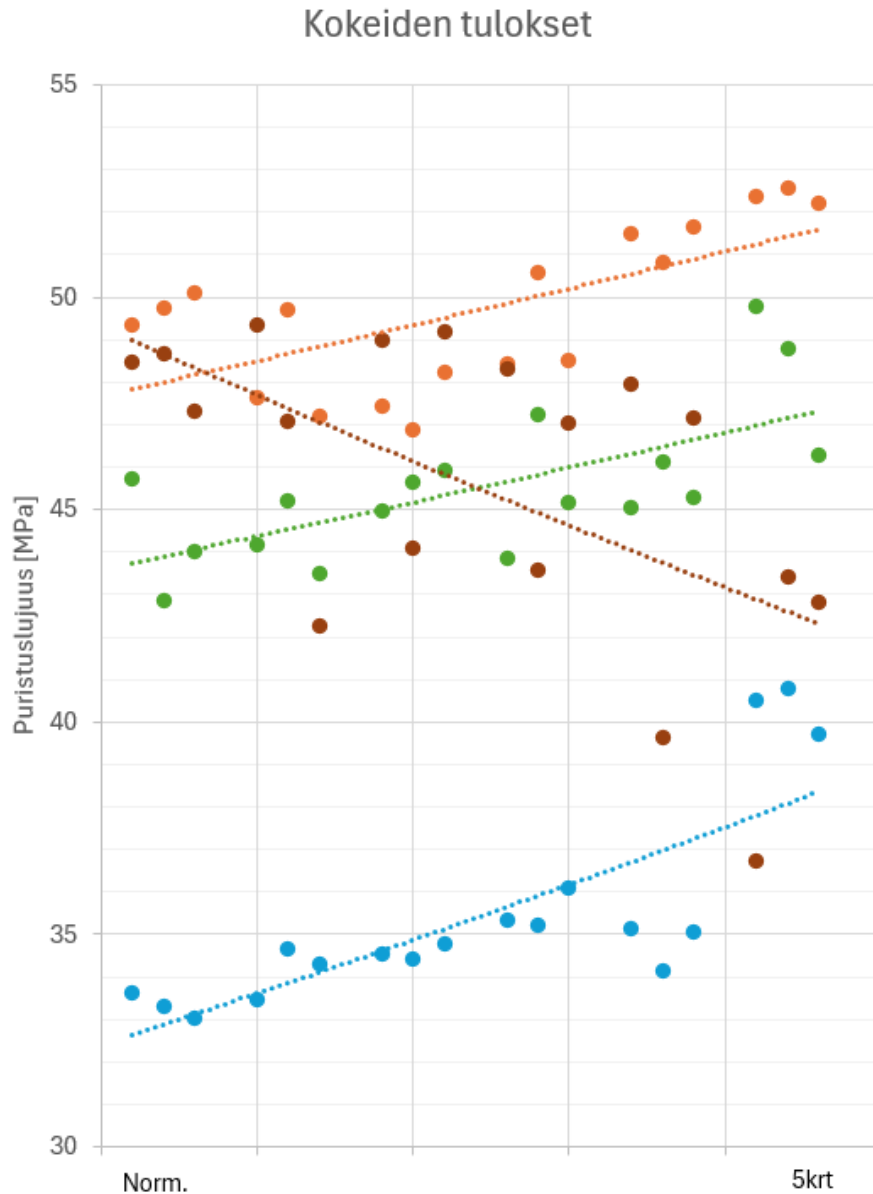
6.5 Tulosten yhteenveto

Kokeiden tuloksissa ja mittauspöytäkirjoissa on esitetty myös koekappaleen paino ja tiheys, mutta taulukoista 3, 5, 7 ja 9 huomataan, että näissä ei merkittäviä poikkeavuuksia ole tapahtunut. Näin ollen voidaan keskittyä vain puristuslujuuden arvioimiseen.

Kaikista kokeista kerättiin koekappaleiden puristuslujuuden arvot samaan taulukkoon (taulukko 11). Taulukosta loin kaavion (kuvio 2), jossa on esitetty kaikkien kokeiden tulokset sekä niiden trendi.

Taulukko 11. Kokeiden tulokset

	KOE 1	KOE 2	KOE 3	KOE 4
Norm.	49,34	33,61	45,72	48,45
	49,73	33,32	42,84	48,66
	50,12	33,03	44,01	47,32
1h	47,64	33,48	44,17	49,35
	49,69	34,65	45,21	47,06
	47,18	34,32	43,48	42,28
2h	47,45	34,55	44,95	48,99
	46,86	34,44	45,64	44,11
	48,22	34,76	45,93	49,18
3h	48,44	35,35	43,87	48,31
	50,59	35,21	47,23	43,58
	48,49	36,11	45,18	47,03
4h	51,48	35,15	45,03	47,97
	50,82	34,14	46,12	39,63
	51,66	35,07	45,27	47,17
5krt	52,37	40,52	49,78	36,73
	52,57	40,78	48,77	43,42
	52,22	39,72	46,28	42,8



Kuvio 2. Kokeiden tulokset

Kuviota 2 tutkimalla saadaan lisää selvyyttä siitä, kuinka kokeiden 1–3 betoni-massat käyttäytyivät toisiinsa nähden hyvin samalla tavalla. Lisäksi huomataan, että kokeen 4 tulokset eroavat muista kokeista, sillä tuloksissa on selkeä laskeva trendi. Kaaviosta huomataan myös se, että kokeen 4 tuloksissa on selkeästi eniten kokeen sisäistä heittoa puristuslujuudessa.

7 TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kokeiden 1–3 betonimassat käyttäytyivät kaikki hyvin samalla tavalla; ryhmän Norm. sekä ryhmien 1h, 2h, 3h ja 4h välillä oli pääsääntöisesti hyvin pientä heittoa kumpaankin suuntaan muutamia yksittäisiä tuloksia lukuun ottamatta. Ryhmä 5krt eli eniten häiritty ryhmä puolestaan sai näissä kolmessa ensimmäisessä kokeessa lähes kaikki parhaimmat tulokset puristuslujuuden osalta. Viimeisen kokeen betonimassa käyttäytyi eri tavalla kuin muissa kokeissa käytetyt betonimassat, eli eniten häiritty ryhmä (5krt) sai huonoimmat tulokset puristuslujuuteen.

Tulosten arvioimisen helpottamiseksi jaetaan kokeet kahteen osaan (taulukko 12) ja palataan kuvioon tiivistyksen vaikutuksesta puristuslujuuteen (kuvio 1). Kokeiden 1–3 tuloksissa ei ollut havaittavissa häirinnän aiheuttamaa negatiivista vaikutusta, joten voidaan todeta betonireseptien käyttäytyneen aikaisemmin esitetyn kuvion 1 mukaisesti. Tärinähäiriön tiivistävä vaikutus on siis aiheuttanut massoissa lähes kaiken ilman poistumisen ilman muita negatiivisesti puristuslujuuteen vaikuttavia ilmiöitä. Taulukon 12 toisella puolella on koe 4, koska tuloksien perusteella kokeen tärinähäiriöllä oli selkeä negatiivinen vaikutus puristuslujuuteen. Lisäksi kokeen aikana koekappaleissa oli havaittavissa betonimassan erottumista. Massan erottuminen on aiheuttanut koekappaleessa epätasaisuutta, mikä voidaan selittää suurilla puristuslujuuden vaihteluilla ryhmien sisällä. Voidaan siis todeta, että kokeen 4 betonimassa on huomattavasti herkempi ”ylitiivistykselle” muiden kokeiden betonimassoihin verrattuna.

Taulukko 12. Häirinnän vaikutus puristuslujuuteen

Ei negatiivista vaikutusta puristuslujuuteen	Negatiivinen vaikutus puristuslujuuteen
Koe 1	Koe 4
Koe 2	
Koe 3	

Kokeesta ei voida kuitenkaan vetää johtopäätöstä, että betoniresepteistä 1–3 valmistettuja työmaakoekappaleita ei tarvitse varastoida huolella standardien mukaisesti, sillä kokeessa käytettiin vain yhdenlaista häirintätapaa. Muunlainen häirintä, kuten iskut tai voimakkaampi tärinä saattaa aiheuttaa betonissa erilaisia ilmiöitä, jotka johtavat koekappaleen puristuslujuuden alenemiseen.

On myös muistettava, että betonin laadukkuuteen vaikuttaa useita tekijöitä eikä pelkästään sen puristuslujuus. Vaikka kokeiden 1–3 häirittyjen koekappaleiden puristuslujuus oli pääsääntöisesti standardien mukaisesti varastoituja suurempi, betonin liiallinen tiivistäminen saattaa johtaa useaan betonin laatuun negatiivisesti vaikuttavaan ilmiöön, joita ovat esimerkiksi erottuminen tai ilmamäärän suuri heitto. Betonirakentamisessa nämä asiat voivat johtaa rakenteiden lujuuksiin merkittävästi (Rakennuslehti, 2016).

8 YHTEENVETO

Lopuksi voidaan palata työn tavoitteisiin. Työn päätavoitteena oli saada tutkimukseen pohjautuvaa tietoa siitä, kuinka tärkeää on järjestää työmaalle kunnon varastointiolosuhteet betonikoekappaleille. Yhdellä neljästä suoritetusta kokeesta oli selkeä negatiivinen vaikutus koekappaleen puristuslujuuteen. Voidaan todeta, että betonimassasta riippuen on mahdollista, että puutteellisesti järjestetyillä varastointiolosuhteilla työmaalla on negatiivisia vaikutuksia betonikoekappaleisiin. On myös hyvin mahdollista, että nämä kolme muuta betonimassaa, joissa ei ollut havaittavissa värinähäiriön aiheuttamaa heikentävää vaikutusta betonin lujuudenkehitykseen, reagoivat täysin eri tavalla muunlaisessa häiriötilanteessa. Siksi onnistuneen laadunvalvonnan takaamiseksi on siis myös työmaalle järjestettävä riittävät puitteet.

Betonikoekappaleiden tutkiminen oli mielenkiintoinen aihe, jossa oli paljon tekemistä. Tutkimuksen suoritus oli hyvin rajattu värinähäiriöön ja puristuslujuuteen, mutta silti pohdittavaa oli runsaasti. Tämä opinnäytetyö myös opetti ymmärtämään, kuinka suuri merkitys betonin laadunvalvonnalla rakennusprojektissa on. Tätä opinnäytetyötä voivat hyödyntää esimerkiksi infra- ja talonrakennusalan yritykset, joiden työmailla betonikoekappaleita valmistetaan. Lisäksi työn aiheesta pystyy tekemään loputtomiin erilaisia tutkimuksia ja tätäkin työtä voidaan soveltaa uudessa tutkimuksessa esimerkiksi muuttamalla häirintätapaa (kovien iskujen vaikutus yms.) tai vaikka säätämällä varastointipaikan lämpötilaa. Aihe on siis laaja.

LÄHTEET

Betonitieto. (n.d.). Betonin tiivistys. Haettu 4.11.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentaminen/betonityot/betonin-valu-ja-tiivistys/betonin-tiivistys.html>

Betonitieto. (n.d.). Betonin valmistus. Haettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/oppiminen/opetuksen-tukimateriaali/betonin-valmistus.html>

Betonitieto. (n.d.). Betonisanasto. Olosuhdekoekappale. Haettu 14.7.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/kirjasto-ja-sanasto/betonisanasto/olosuhdekoekappale.html>

Betonitieto. (n.d.). Laadunvalvonta tehtaalla. Haettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/laadunvalvonta/laadunvalvonta-tehtaalla.html>

Betonitieto. (n.d.). Laadunvalvonta työmaalla. Haettu 2.10.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/laadunvalvonta/laadunvalvonta-tehtaalla.html>

Betonitieto. (n.d.). Valmisbetoni. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni.html>

Finder. (n.d.). Rudus Oy. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.finder.fi/Betoni/Rudus+Oy+pääkonttori/Helsinki/yhteystiedot/153431>

Finnsementti. (2019). Myös notkeat betonimassat vaativat huolellisen tiivistämisen. <https://finnsementti.fi/tutkittua/myos-notkeat-betonimassat-vaativat-huolellisen-tiivistamisen/>

Finnsementti. (2008). Parmix-Stabilaattori käyttöseloste. https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/2018/08/parmix_-stabilaattori_1_01102013_161316.pdf

Hämeen ammattikorkeakoulu – HAMK. (n.d.). Opinnäytetyö. Toiminnallinen opinnäytetyö. Haettu 26.11.2024 osoitteesta <https://www.hamk.fi/opiskelijalle/opintojen-suunnittelu/opinnaytetyo/>

Labroc. (n.d.). Puristuslujuuden määrittäminen. Haettu 14.7.2024 osoitteesta <https://labroc.fi/puristuslujuuden-maaritys/>

Rakennuslehti. (2016). Betoniteollisuus: Lujuusongelmien takana liika ilma ja vääranntyyppinen betoni. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/12/betoniteollisuus-lujuusongelmien-takana-liika-ilma-ja-vaarantyyppinen-betoni/>

Rudus. (n.d.). Rudus yrityksenä. Haettu 10.6.2024 osoitteesta <https://www.rudus.fi/rudus-yrityksena/toiminta>

Semtu. (2018). Huokostimet-info. Betonin huokostus. <https://www.semtu.fi/application/files/6415/2602/0737/Huokostimet-info-2018.pdf>

SFS 7022:2024. (2024). Betoni. Standardin SFS-EN 206 käyttö Suomessa. Suomen Standardit. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 12350-1:2019. (2019). Tuoreen betonin testaus. Osa 1: Näytteenotto ja testilaitteet. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 12390-2:2019. (2019). Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 12390-3:2019. (2019). Testing hardened concrete. Part 3: Compressive strength of test specimens. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 206:2014. (2014). Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi/>

Väylävirasto. (2024). Infrabetonien valmistus ja infratyömaa. https://www.betoniyhdistys.fi/media/kurssit/betonilaborantti-ja-myllari/infrabetonit-ja-infraryl-2024_vuotari-jussi.pdf

LIITE 1: KOE 1 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja: KOE 1

Pvm	Betonilaatu	Muotti	Valmistuspäivä	Testausikä	Testin suorittaja	Muuta
31.7.2024	<i>piilotettu</i>	kuutio 150x150x150	3.7.2024	28d	Joona Alppi	-

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	8,04	2381,63	1110,1	49,34
Norm.	8,13	2408,59	1118,9	49,73
Norm.	8,12	2405,33	1127,6	50,12
1h	8,10	2400,59	1071,9	47,64
1h	8,14	2412,44	1118,1	49,69
1h	8,02	2376,00	1061,6	47,18
2h	8,00	2370,07	1067,6	47,45
2h	7,93	2350,81	1054,3	46,86
2h	8,02	2377,48	1084,9	48,22
3h	8,03	2378,37	1089,9	48,44
3h	8,06	2388,15	1138,3	50,59
3h	8,02	2375,70	1091,1	48,49
4h	8,11	2403,26	1158,2	51,48
4h	7,99	2367,11	1143,5	50,82
4h	8,08	2395,26	1162,3	51,66
5krt	8,03	2380,44	1178,3	52,37
5krt	8,13	2408,89	1182,9	52,57
5krt	8,10	2398,52	1174,9	52,22

Puristuslujuustestit tehty standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti.

LIITE 2: KOE 2 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja: KOE 2

Pvm	Betonilaatu	Muotti	Valmistuspäivä	Testausikä	Testin suorittaja	Muuta
2.8.2024	<i>piilotettu</i>	kuutio 150x150x150	5.7.2024	28d	Joona Alppi	-

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	8,11	2401,78	756,3	33,61
Norm.	8,10	2398,52	749,7	33,32
Norm.	8,14	2411,26	743,1	33,03
1h	8,12	2405,63	753,3	33,48
1h	8,12	2406,81	779,7	34,65
1h	8,14	2411,85	772,1	34,32
2h	8,11	2404,15	777,4	34,55
2h	8,22	2435,26	775,0	34,44
2h	8,16	2416,30	782,1	34,76
3h	8,17	2420,15	795,4	35,35
3h	8,18	2424,30	792,2	35,21
3h	8,15	2413,93	812,5	36,11
4h	8,29	2457,48	790,8	35,15
4h	8,25	2444,74	768,2	34,14
4h	8,26	2447,70	789,1	35,07
5krt	8,06	2387,85	911,8	40,52
5krt	8,16	2417,48	917,6	40,78
5krt	8,10	2400,30	893,6	39,72

Puristuslujuustestit tehty standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti.

LIITE 3: KOE 3 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja: KOE 3

Pvm	Betoni-laatu	Muotti	Valmistuspäivä	Testausikä	Testin suorittaja	Muuta
6.8.2024	<i>piilotettu</i>	kuutio 150x150x150	9.7.2024	28d	Joona Alppi	-

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	7,91	2343,41	1028,6	45,72
Norm.	7,87	2330,37	963,8	42,84
Norm.	7,87	2333,04	990,3	44,01
1h	7,87	2332,44	993,8	44,17
1h	7,98	2365,33	1017,3	45,21
1h	7,86	2327,70	978,2	43,48
2h	7,88	2335,11	1011,3	44,95
2h	7,89	2338,96	1027	45,64
2h	7,91	2343,70	1033,5	45,93
3h	7,95	2355,26	987,1	43,87
3h	7,98	2364,74	1062,7	47,23
3h	7,93	2349,93	1016,6	45,18
4h	7,99	2366,52	1013,2	45,03
4h	7,96	2359,11	1037,6	46,12
4h	7,98	2365,33	1018,6	45,27
5krt	7,99	2367,41	1120,1	49,78
5krt	8,03	2380,15	1097,3	48,77
5krt	7,90	2340,15	1041,4	46,28

Puristuslujuustestit tehty standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti.

LIITE 4: KOE 4 MITTAUSPÖYTÄKIRJA

Mittauspöytäkirja: KOE 4

Pvm	Betonilaatu	Muotti	Valmistuspäivä	Testausikä	Testin suorittaja	Muuta
2.9.2024	<i>piilotettu</i>	kuutio 150x150x150	5.8.2024	28d	Joona Alppi	-

Koekappale	Paino [kg]	Tiheys [kg/m ³]	Kuormitus [kN]	Lujuus [MPa]
Norm.	7,49	2220,15	1090,2	48,45
Norm.	7,58	2245,04	1094,8	48,66
Norm.	7,41	2195,26	1064,6	47,32
1h	7,51	2226,07	1110,4	49,35
1h	7,46	2211,26	1058,9	47,06
1h	7,52	2228,15	951,4	42,28
2h	7,53	2231,70	1102,2	48,99
2h	7,52	2227,85	992,5	44,11
2h	7,54	2234,07	1106,6	49,18
3h	7,49	2219,85	1086,9	48,31
3h	7,43	2202,67	980,6	43,58
3h	7,52	2227,56	1058,1	47,03
4h	7,54	2233,78	1079,4	47,97
4h	7,50	2223,41	891,7	39,63
4h	7,49	2220,44	1061,4	47,17
5krt	7,51	2226,37	826,5	36,73
5krt	7,53	2230,22	976,9	43,42
5krt	7,56	2238,52	962,9	42,80

Puristuslujuustestit tehty standardin SFS-EN 12390-3:2019 mukaisesti.